Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 243-261

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۲۶۱-۲۴۳

اثر روش کاشت پشته مرتفع و نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن و عملکرد گندم

علیرضا کوچکی[1*]- سرور خرم دل[2]- جواد شباهنگ[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۳۱

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی اثر کاشت پشته مرتفع و سطوح اوره بر شاخص‌های کارایی نیتروژن، عملکرد کمی و محتوای نیتروژن گندم در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. دو روش کاشت (مرسوم و پشته مرتفع) و پنج سطح صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌ترتیب به‌عنوان عامل‌های اصلی و فرعی مدنظر قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، محتوی نیتروژن دانه و کاه و شاخص‌های کارایی نیتروژن (جذب، تبدیل و مصرف) بودند. نتایج نشان داد که اثر ساده و متقابل روش کاشت و کود اوره بر عملکرد دانه و بیولوژیک، محتوی نیتروژن دانه و کاه، کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود. بالاترین و پایین‌ترین کارایی جذب نیتروژن به‌ترتیب برای تیمار پشته مرتفع و بدون مصرف نیتروژن (۰/۴۵ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و روش رایج و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۰/۱۴ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) به‌دست آمد. شاخص‌های کارایی جذب و مصرف نیتروژن در روش پشته مرتفع بالاتر از روش رایج بود. بیشترین و کمترین کارایی مصرف نیتروژن به‌ترتیب مربوط به تیمارهای پشته مرتفع و شاهد (۳۶/۶۵ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه) و روش رایج و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱۰/۶۳ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه) بود. با افزایش مصرف اوره از صفر به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف نیتروژن ۶۲ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: پشته مرتفع، عملکرد دانه، کارایی تبدیل نیتروژن، محتوی نیتروژن

مقدمه

در طی ۴۰ سال گذشته مصرف کودهای نیتروژن در سطح جهان هفت برابر و به موازات آن تولید غذا از بوم‌نظام‌های کشاورزی دو برابر افزایش یافته است (Eickhout *et al.*, 2006). در ایران نیز در فاصله سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ مصرف کودهای نیتروژنی در بوم‌نظام‌های تولید گندم ۹/۵ برابر و عملکرد این محصول حدود ۳/۴ برابر افزایش یافته است (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2014). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که مصرف کودهای شیمیایی در مقیاس ملّی و منطقه‌ای بیش از هر عاملی تابع جمعیت می‌باشد (Zhang and Zhang, 2007) و کشور ما با دارا بودن یک درصد جمعیت جهان، سالانه در حدود ۲ درصد کودهای نیتروژنی جهان را در بخش کشاورزی مصرف می‌کند، در حالی‌که میانگین عملکرد غلات کشور اندکی کمتر از میانگین جهانی است. نتایج مطالعه رائون و جانسون (Raun and Johnson, 1999) نیز نشان داده است که اتلاف نیتروژن در نظام‌های تولید غلات بین ۵۰-۲۰ درصد می‌باشد.

تغییر نظام‌های تولید به حالت فشرده[4] و تداوم مصرف نهاده‌های شیمیایی باعث شده که از دهه آخر قرن گذشته نگرانی‌های زیست‌محیطی در رابطه با آلودگی‌های ناشی از مصرف این نهاده‌ها افزایش یافته و در دهه اول قرن اخیر به یکی از مهمترین مشکلات نظام‌های رایج تولید مواد غذایی تبدیل شود. مطالعات در برخی از نقاط جهان حاکی از آن است که با ادامه مصرف نهاده‌های شیمیایی واکنش نظام‌های زراعی به آنها در حال کاهش است. به عبارت دیگر، حتی ارقام پر محصول نیز به ازای واحد کودهای شیمیایی مصرفی عملکرد کمتری تولید می‌کنند (Giller *et al.*, 2004) که تحت چنین شرایطی دست‌یابی به عملکرد بالا، مستلزم مصرف مقادیر بیشتری از کودهای شیمیایی خواهد بود. البته آلودگی‌های محیط‌زیست و مسائل مرتبط با تغییر اقلیم از یک‌سو و تضمین امنیت غذایی از سوی دیگر، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی را به چالش

۱- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دکتری اگرواکولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i1.63385

4- Intensive

مهمی تبدیل کرده است (Lemaire *et al.*, 2008; Fageria and Baligar, 2005).

نتایج آزمایشات مربوط به عملکرد ماده خشک ارقام گندم کشور در واکنش به کود نیتروژن بسیار متنوع بوده و دامنه تغییرات آن زیاد است (Shahsavari and Saffari, 2005; Bahrani and Tahmasebi, 2006; Naroki *et al.*, 2009; Miran Zadeh and Emam, 2010). کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2017) با فراتحلیل نتایج تحقیقات مرتبط با تأثیر نیتروژن بر غلات نشان دادند که بالاترین عملکرد بیولوژیک گندم با مصرف ۱۲۰-۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل می‌شود.

تعاریف متعددی برای کارایی مصرف نیتروژن (NUE)[1] بیان شده است. بر اساس یکی از معتبرترین تعاریف، NUE عبارت است از مقدار تولید دانه به‌ازای واحد نیتروژن قابل دسترس خاک (Moles *et al.*, 1984). بر این اساس، کارایی مصرف نیتروژن، تابعی از دو شاخص فیزیولوژیکی کارایی جذب و تبدیل بوده که نشان‌دهنده تولید دانه به‌ازای نیتروژن موجود در اندام‌های هوایی گیاه است. کارایی مصرف نیتروژن نشان‌دهنده نیتروژن قابل مصرف از کل میزان آن در خاک می‌باشد (Huggins and Pan, 1993; Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2001). تی‌تونل و همکاران (Tittonell *et al.*, 2007) کارایی تبدیل[2] (NCE) را مقدار ماده خشک تولید شده به‌ازای واحد عنصر جذب شده تعریف کردند. راتکه و همکاران (Rathke *et al.*, 2006) نیز بهره‌وری نیتروژن را نسبت عملکرد دانه بر مقدار کل نیتروژن جذب شده گزارش کردند.

از طرف دیگر، کاهش سرعت رشد محصول در شرایط کمبود نیتروژن تحت تأثیر کاهش سطح برگ و در نتیجه جذب کمتر تشعشع و نیز از طریق کاهش فتوسنتز به دلیل نقش نیتروژن در ساختمان شیمیایی آنزیم‌های فتوسنتزی است (Gastal and Lemaire, 2002). کاهش کارایی مصرف نور به‌عنوان مهمترین واکنش گیاهان به کمبود نیتروژن مورد توافق برخی از محققین است (Olesen *et al.*, 2002; Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006).

بدین ترتیب، با در نظر گرفتن آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از ورود نیتروژن اضافی به آب‌های زیرزمینی و سایر منابع طبیعی و در نتیجه بر هم خوردن تعادل، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی امری بسیار ضروری است. از جمله عوامل مدیریتی مؤثر در افزایش کارایی مصرف این عنصر پرمصرف در نظام‌های زراعی می‌توان به مواردی نظیر بهره‌گیری از روش کاشت مناسب، نوع گونه گیاهی و رقم، کشت مخلوط، تناوب زراعی و زمان، نوع و میزان مصرف کودهای نیتروژنه اشاره کرد (Bock, 1984; Gliessman, 1997; Huggins and Pan, 1993).

رائون و جانسون (Raun and Johnson, 1999) دریافتند که ارقامی از گندم که دارای شاخص برداشت بالا هستند، اتلاف نیتروژن کمتری داشته و لذا میزان کارایی مصرف نیتروژن در آنها بالاتر است. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2015) در آزمایشی گزارش نمودند که ذرت و پنبه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارای کارایی نیتروژن بیشتری نسبت به کشت خالص بودند. نتایج مطالعه دیگری نشان داد که کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت موجب افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن در مقایسه با کشت خالص شد (Koocheki *et al.*, 2012).

روش کاشت یکی از راهکارهای مدیریت زراعی است که می‌تواند کارایی مصرف عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را به‌عنوان یکی از مهمترین عناصر پرمصرف متحرک در خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد (Majeed *et al.*, 2015; Mollah *et al.*, 2009; Hossain *et al.*, 2004). در همین راستا مجید و همکاران (Majeed *et al.*, 2015) گزارش نمودند که روش کاشت رایج در گندم به دلیل افزایش ورس، کاهش کارایی مصرف آب و سله‌بندی موجب کاهش عملکرد شد. از طرف دیگر، روش پشته مرتفع[3]، علاوه بر افزایش ذخیره آب و بهبود کارایی مصرف نیتروژن، موجب افزایش عملکرد شد. به طوری‌که اجرای روش پشته مرتفع همراه با کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم اوره در هکتار موجب افزایش ۱۵/۶ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با همین میزان نیتروژن در روش مرسوم شد. نتایج برخی مطالعات (Mollah *et al.*, 2009; Hossain *et al.*, 2004) مؤید بهبود عملکرد گندم تا ۲۱ درصد به دلیل اجرای روش پشته مرتفع بود. مجید و همکاران (Majeed *et al.*, 2015) و هابز و همکاران (Hobbs *et al.*, 2000) دلیل افزایش عملکرد دانه در روش پشته مرتفع را به انباشته شدن خاک حاصلخیز در محل استقرار بوته‌ها و کاهش تلفات عناصر غذایی نسبت دادند. آنها همچنین کاهش ایجاد رواناب، عدم حذف خاک سطحی به دلیل فرسایش، تعدیل میکروکلیمای مزرعه به دلیل کاهش حضور علف‌های هرز، توزیع بهتر آب و کود و به تبع آن کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، کاهش هجوم علف‌های هرز و ایجاد شرایط مطلوب دمایی و زراعی برای معدنی شدن نیتروژن را از دیگر مزایای اکولوژیکی این روش کاشت معرفی نمودند. واریچ و همکاران (Waraich *et al.*, 2010) نشان دادند که کارایی مصرف آب در روش پشته مرتفع به‌طور معنی‌داری بالاتر از روش رایج بود. آنها دلیل این امر را به رشد بهتر گیاه نسبت دادند که همچنین باعث کاهش آب مورد استفاده شد (Fahong *et al.*, 2010).

آگاهی از تغییرات شاخص‌های کارایی نیتروژن در گندم تحت تأثیر روش‌های مدیریت زراعی، محققان و کشاورزان را قادر خواهد

1- Nitrogen use efficiency (NUE)
2- Nutrient conversion efficiency (NCE)
3- Raised bed planting

ساخت تا با ارائه الگوهای نوین ضمن کاهش خطرات و پی‌آمدهای زیست محیطی مصرف بی‌رویه این نهاده، عملکرد را در سطح مطلوب حفظ کنند. بنابراین، هدف این تحقیق، بررسی اثر روش کاشت پشته مرتفع و نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن و عملکرد این گیاه مهم و استراتژیک در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. دو روش کاشت (مرسوم و پشته مرتفع) و پنج سطح نیتروژن (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) به‌ترتیب به‌عنوان عامل‌های اصلی و فرعی مدنظر قرار گرفتند.

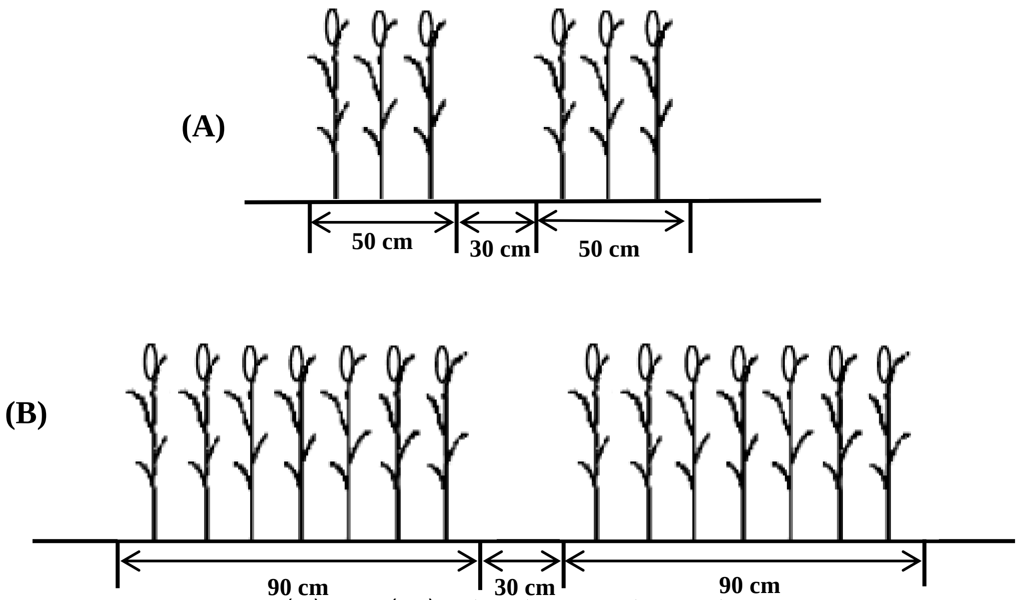
قبل از کاشت نمونه‌ای از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک مزرعه به‌صورت تصادفی انتخاب و جهت تعیین بافت، میزان کربن آلی، نیتروژن، فسفر و نیتروژن، pH و EC به آزمایشگاه منتقل گردید. نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of soil

بافت Texture	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg kg^{-1})	پتاسیم K (mg kg^{-1})	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})
لومی- سیلتی Loamy-silt	0.051	39	241	8.12	0.88	1.68

پس از اجرای عملیات آماده‌سازی زمین، کاشت دستی بذر (رقم گاسکوژن) به دو شیوه مرسوم (طبق عرف) و روی پشته مرتفع با تراکم ثابت ۴۰۰ بوته در متر مربع (Koocheki *et al.*, 2010) در آبان ماه انجام شد. در روش مرسوم سه ردیف بذر روی پشته‌های ۵۰ سانتی‌متر کاشته شد. در حالی‌که در روش پشته مرتفع عرض پشته ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۱). در هر کرت پنج پشته ایجاد گردید. بین کرت‌ها و بلوک‌ها به‌ترتیب ۰/۵ و یک متر به‌عنوان فاصله در نظر گرفته شد. بر این اساس، ابعاد کرت‌ها در روش کاشت پشته مرتفع و مرسوم به‌ترتیب ۴×۳ و ۶×۳ متر مربع بود.



شکل ۱- شمایی از روش کاشت (الف) رایج و (ب) پشته مرتفع

Figure 1- Conceptual representation of the (A) conventional and (B) raised bed planting methods

نیتروژن مصرفی (به فرم کود اوره) طی دو مرحله به خاک اضافه شد؛ به طوری‌که نیمی از آن در زمان کاشت و نیم دیگر ۵۰ روز پس

از کاشت همزمان با آبیاری مصرف شد. آبیاری از زمان کاشت تا رسیدگی به روش جوی و پشته و به‌صورت یکسان برای هر دو روش کاشت انجام شد. جهت جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها انتهای کرت‌ها به‌طور کامل بسته و آبیاری کرت‌ها به‌طور کاملاً جداگانه انجام گردید. کنترل علف‌های هرز بر اساس وجین دستی در طول فصل رشد و بنا به ضرورت انجام گرفت.

برداشت در مرحله رسیدگی کامل و پس از زرد شدن بوته‌های گندم پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انجام گردید. پس از آن، نمونه‌ای از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت و میزان نیتروژن به‌روش AOAC Official Method 968.06 (4.2.04) با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد (Horwitz and Latimer, 2005).

کارایی جذب نیتروژن (NUpE)[1] بر اساس نسبت عملکرد نیتروژن در گیاه (کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار) بر کل مقدار نیتروژن در خاک (کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد (معادله ۱) (Hatermink *et al.*, 2000).

$$NUpE = plant\ N\ content / available\ N \qquad (۱)$$

کارایی تبدیل نیتروژن[2] (NUeE) بر اساس نسبت بین عملکرد نیتروژن در دانه (کیلوگرم نیتروژن دانه در هکتار) بر عملکرد نیتروژن در خاک (کیلوگرم نیتروژن خاک در هکتار) محاسبه شد (Cassman *et al.*, 2003).

جهت محاسبه کارایی مصرف نیتروژن (NUE) از معادله ارائه شده توسط هاترمینک و همکاران (Hatermink *et al.*, 2000) استفاده شد (معادله ۲).

$$NUE = \frac{Y_s}{N_{initial} + N_{fertilizer}} \qquad (۲)$$

در این معادله، Y_s: عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)، $N_{initial}$: نیتروژن موجود در خاک در ابتدای فصل رشد (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و $N_{fertilizer}$: نیتروژن مصرفی از طریق کود اوره (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها به‌ترتیب توسط SAS 9.1 و Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار[3] (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثر روش کاشت و مقدار اوره بر عملکرد، محتوی نیتروژن دانه و کاه و شاخص‌های کارایی نیتروژن به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

1- Nitrogen uptake efficiency
2- Nitrogen utilization efficiency
3- Least significant difference

عملکرد دانه و بیولوژیک

اثر ساده و متقابل روش کاشت و میزان مصرف کود نیتروژن بر عملکرد دانه و بیولوژیک گندم معنی‌دار ($p\leq۰/۰۵$) بود (جدول ۲). به‌طوری‌که بالاترین و پایین‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب برای تیمار روش پشته مرتفع و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و روش رایج و بدون مصرف نیتروژن به‌ترتیب با ۷۵۴۵ و ۳۸۶۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. با افزایش میزان مصرف اوره از صفر به ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، عملکرد دانه در روش پشته مرتفع به‌ترتیب ۱۰، ۱۶، ۶، ۱۰ و ۸ درصد نسبت به روش کاشت رایج بالاتر بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک برای روش پشته مرتفع و بالاترین مقدار اوره (با ۱۴۲۷۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد و کمترین میزان برای روش کاشت رایج و شاهد (بدون مصرف نیتروژن) (۷۴۸۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. افزایش مصرف اوره از صفر به ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش به‌ترتیب ۱۳، ۱۳، ۲، ۵ و ۱۲ درصدی عملکرد بیولوژیک را در روش کاشت پشته مرتفع در مقایسه با روش رایج به دنبال داشت (شکل ۲- الف و ب).

واکنش عملکرد دانه گندم به میزان مصرف کود نیتروژن به‌صورت تابع درجه دو می‌باشد، به طوری‌که با افزایش مصرف اوره تا حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه به‌صورت خطی افزایش یافت و سپس تقریباً ثابت گردید و در نهایت، در سطوح مصرف اوره بالاتر از ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. با افزایش مصرف اوره، عملکرد دانه احتمالاً به دلیل تحریک رشد رویشی و اختلال در نسبت رشد اندام‌های رویشی به زایشی کاهش یافته است. شیب افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر افزایش مصرف اوره، در روش کاشت پشته مرتفع بیشتر از روش رایج بود (شکل ۳- الف و ب) که دلیل این امر مربوط به وجود شرایط بهتر برای رشد بوته‌ها از جمله کاهش رشد علف‌های هرز (Majeed *et al.*, 2015) در روش پشته مرتفع در مقایسه با روش رایج می‌باشد.

مصرف نیتروژن از طریق تحریک تولید اندام‌های رویشی، بهبود دوام سطح برگ، سنتز پروتئین‌ها و همچنین اثر روی فعالیت آنزیم رابیسکو، فتوسنتز را تحت تأثیر قرار داده و به دلیل بهبود ظرفیت و سرعت فتوسنتز باعث افزایش عملکرد شده است (Wolton, 2005). تحقیقات وست (West, 2006) نیز مؤید وجود همبستگی بسیار بالا بین سرعت فتوسنتز و غلظت نیتروژن در واحد سطح برگ است. نونز و کمپرات (Nunez and Kamprath, 1969) دلیل اصلی اثر مصرف نیتروژن بر افزایش عملکرد را به تحریک رشد اندام‌های رویشی و به‌ویژه سطح برگ نسبت دادند. این محققین رابطه خطی را بین عملکرد دانه و شاخص سطح برگ گزارش نمودند. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2015) نیز با بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر رشد و عملکرد دو گونه زراعی پنبه و ذرت اظهار داشتند

که با افزایش مصرف اوره از صفر تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکـرد زیست‌توده هر دو گیاه افزایش یافت. آنها دلیل ایـن امـر را بـه تـأثیر مثبت نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بهتر آنها نسبت به عدم مصرف کود نسبت دادند.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر روش کاشت و سطوح کود اوره بر عملکرد، محتوی نیتروژن و شاخص‌های کارایی نیتروژن در گندم

Table 2- Analysis of variance for the effects of planting methods and Urea fertilizer rates on yield, nitrogen contents and nitrogen efficiency indices of wheat

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares						
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	نیتروژن دانه Nitrogen content of grain	نیتروژن کاه Nitrogen content of straw	کارایی جذب نیتروژن N uptake efficiency	کارایی تبدیل نیتروژن N utilization efficiency	کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency
تکرار Replication	2	246820.61*	336412.04*	0.003ns	0.002	0.03ns	3.04ns	202.13ns
روش کاشت (P) Planting method (P)	1	2301726.23**	6060937.74**	0.04**	0.02**	0.11**	85.86**	494.61*
خطای اصلی Main error	2	11386.96	13940.59	0.007	0.009	0.005	36.38	14.45
سطح کود اوره (N) Urea fertilizer level (N)	4	8880481.24**	27179797.95**	0.07**	0.058**	0.07**	152.86**	376.92**
N×P	4	527891.34*	341417.89**	0.06**	0.041**	0.11**	150.01**	145.45*
خطای فرعی Sub error	16	69813.46	39811.93	0.007	0.003	0.004	27.323	21.80
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		4.5	1.8	4.7	8.6	22.4	6.8	21.0

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and ** are significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

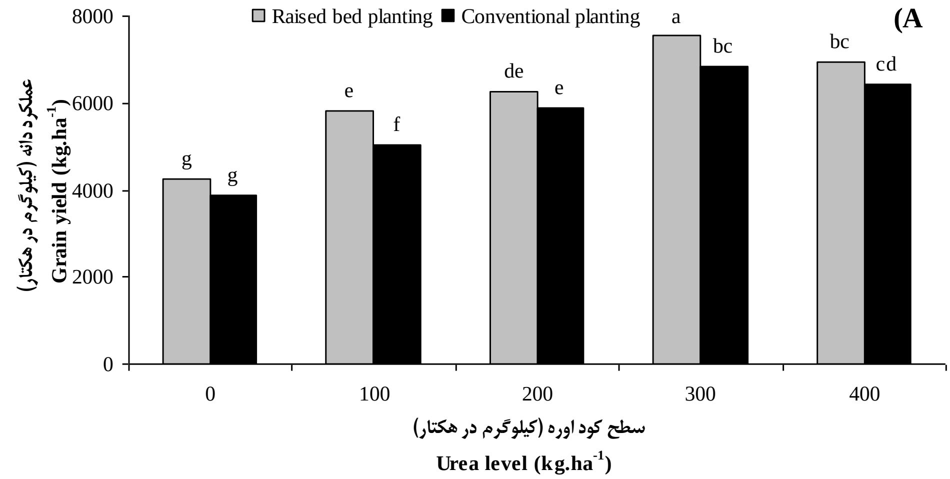
جدول ۳– مقایسه میانگین اثر متقابل روش کاشت و سطوح کود اوره بر محتوی نیتروژن و شاخص‌های کارایی نیتروژن در گندم

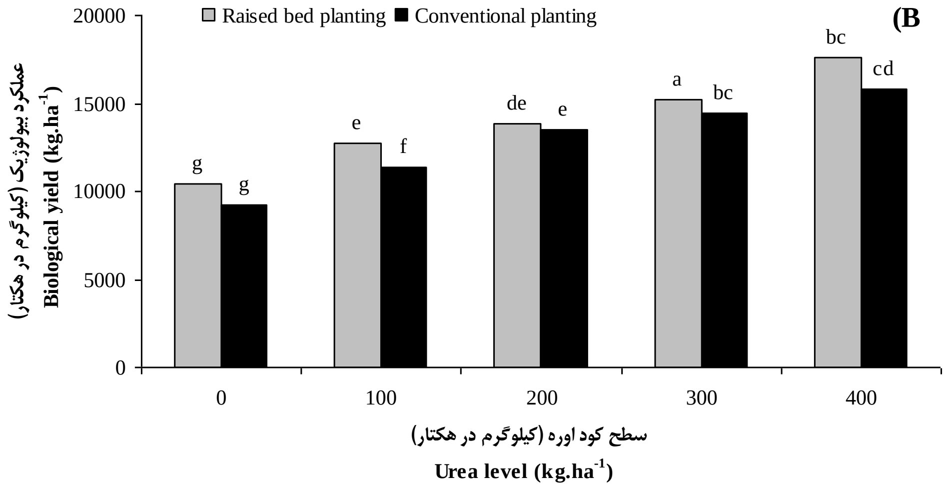
Table 3- Mean comparison for interaction effect of planting methods and Urea fertilizer rates on nitrogen contents and nitrogen efficiency indices of wheat

روش کاشت Planting method	سطح اوره Urea rate ($kg\ ha^{-1}$)	نیتروژن دانه Nitrogen content of grain (%)	نیتروژن کاه Nitrogen content of straw (%)	کارایی جذب نیتروژن N uptake efficiency (kg N in plant per kg N in soil)	کارایی تبدیل نیتروژن N utilization efficiency (kg N in grain per kg N in soil)
پشته مرتفع Raised bed planting	0	1.65e*	0.50e	0.45a	80.66ab
	100	1.75de	0.57de	0.43a	78.44abc
	200	1.79bcd	0.61bcd	0.28bc	77.58abc
	300	1.99a	0.70ab	0.36ab	71.50c
	400	1.90abc	0.68abc	0.21cd	73.62abc
رایج Conventional	0	1.72de	0.40f	0.44a	71.60c
	100	1.72de	0.58cde	0.19cd	79.02abc
	200	1.72de	0.62abcd	0.17cd	82.40a
	300	1.92ab	0.67abc	0.26bc	73.02bc
	400	1.80bcd	0.71a	0.14d	78.56abc

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

.* Means with at least one similar letter are not significant different ($p \leq 0.05$) based on LSD test





شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل روش کاشت و سطوح کود اوره بر عملکرد گندم

Figure 2- Mean comparison for the interaction effects of planting method and Urea fertilizer levels on wheat yield

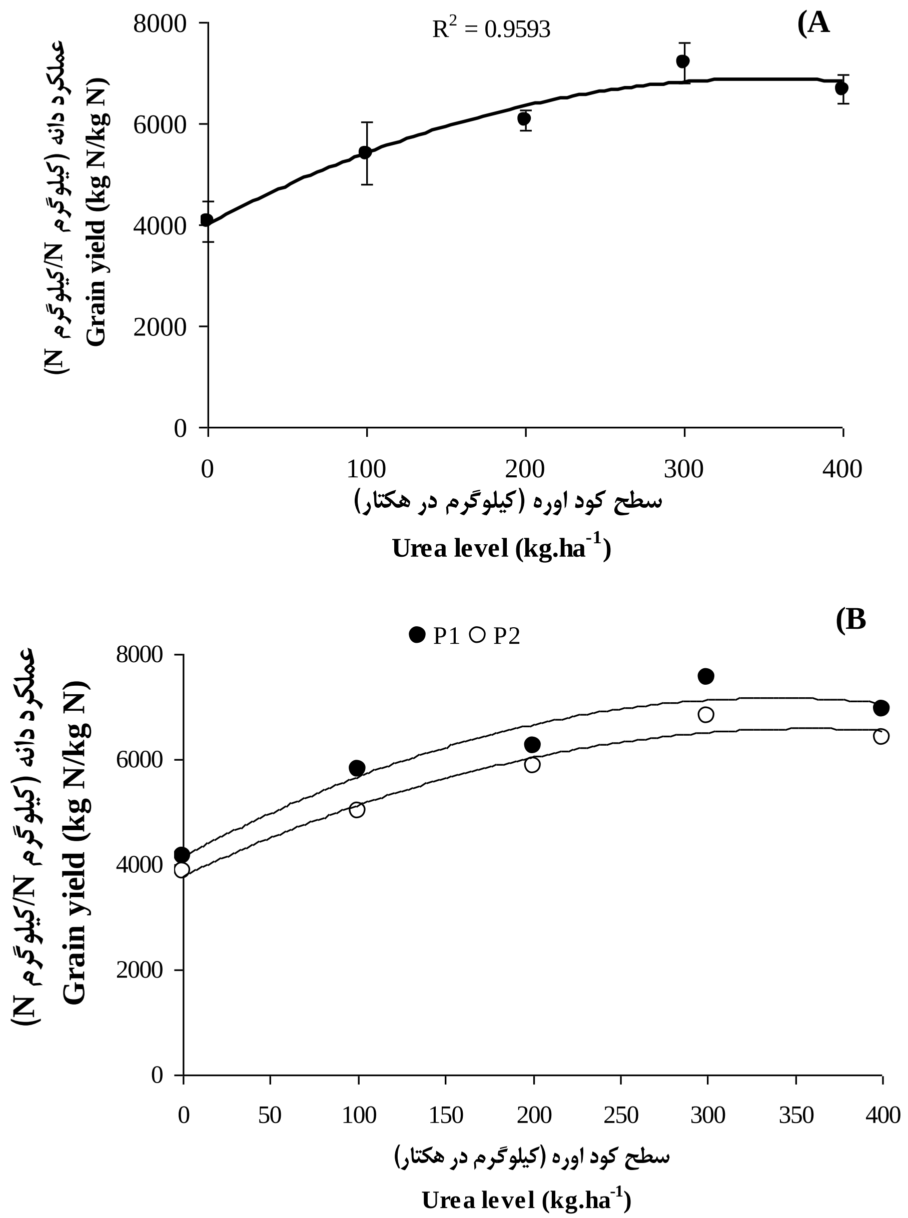
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each figure followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

شکل تابع درجه دو واکنش عملکرد نسبت به مصرف کود نیتروژن بیان‌کننده نوعی بازده نزولی در سطوح بالای مصرف کود می‌باشد که به لحاظ آماری به تأیید رسیده است (Nelson *et al.*, 1985). سراتو و بلاکمر (Cerrato and Blackmer, 1990) با برازش انواع منحنی‌های پاسخ به کود نیتروژن در گیاهان زراعی مختلف و تحلیل آماری این معادلات نشان دادند که معادله درجه دوم که نهایتاً به ثبات برسد، بهترین فرم آماری برای توصیف واکنش گیاهان نسبت به کود نیتروژن می‌باشد. امام و همکاران (Emam *et al.*, 2005) با بررسی سطوح نیتروژن از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نشان دادند که عملکرد دانه و ماده خشک گندم تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش یافته و در سطوح بالاتر بی‌تغییر ماند، در حالی‌که بحرانی و همکاران (Bahrani *et al.*, 2006) واکنش عملکرد گندم به نیتروژن را در دامنه کودی صفر تا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایشی گزارش کردند.

نیتروژن معدنی خاک که به میزان زیادی تحت تأثیر نوع مدیریت زراعی می‌باشد، از جمله ویژگی‌های تأثیرگذار بر نتایج آزمایشات کودی است. دوبرمن و کاسمن (Dobermann and Cassman, 2004) بیان داشتند که بین میزان نیتروژن معدنی خاک (محتوی نیتروژن قابل استفاده) و مقدار نیتروژن کودی مورد نیاز گیاهان زراعی نوعی رابطه خطی منفی وجود دارد. شیب این خط که به گونه زراعی بستگی دارد، در مورد گندم حدود یک می‌باشد، یعنی به‌ازای هر واحد نیتروژن قابل استفاده خاک از نیاز کودی گیاه کاسته می‌شود. به نظر می‌رسد که بهبود شرایط رشدی در روش پشته مرتفع از طریق افزایش نیتروژن (Majeed *et al.*, 2015; Jat *et al.*, 2011) موجب

تغییر توزیع شاخص سطح برگ (Li *et al.*, 2008)، افزایش رشد بوته‌های گندم و به تبع آن بهبود عملکرد در مقایسه با روش رایج شده است. نتایج گزارش برخی محققان مؤید اثر معنی‌دار روش کاشت بر رشد و عملکرد گندم می‌باشد (Majeed *et al.*, 2015; Hossain *et al.*, 2006; Meisner *et al.*, 1992; Sayre and Morens Romos, 1997; Hobbs *et al.*, 2000). مجید و همکاران (Majeed *et al.*, 2015) دلیل افزایش عملکرد را در سطوح بالاتر نیتروژن به کاهش تلفات نیتروژن و افزایش جذب آن توسط بوته‌ها، کاهش غرقاب و سله بستن سطح خاک در پشته‌های مرتفع در مقایسه با روش کاشت رایج نسبت دادند. علاوه بر این، کوکال و همکاران (Kukal *et al.*, 2010) اعتقاد دارند که اجرای روش کاشت پشته مرتفع می‌تواند از طریق کاهش مصرف آب نقش به‌سزایی در بهبود کارایی مصرف آب ایفا کند.



شکل ۳- اثر (الف) ساده سطوح اوره و (ب) متقابل سطوح اوره و روش کاشت (P_1: پشته مرتفع و P_2: رایج) بر عملکرد دانه گندم

Figure 3- Effects of (A) Urea fertilizer levels and interaction between Urea fertilizer and planting method (P_1: Raised bed planting and P_2: Conventional) on grain yield of wheat

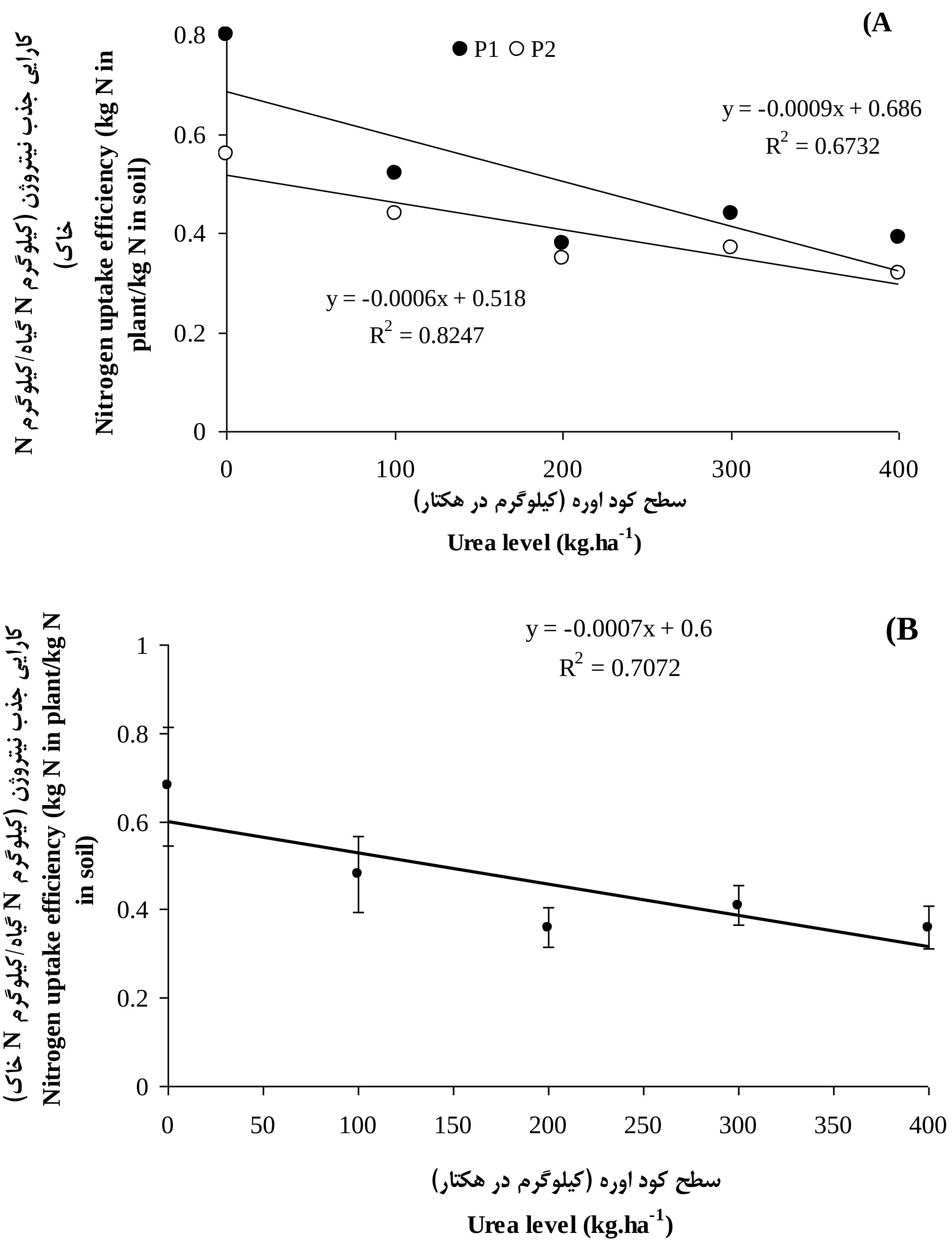
محتوی نیتروژن دانه و کاه

اثر ساده و متقابل روش کاشت و میزان مصرف کود اوره، محتوی نیتروژن دانه و کاه گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p\leq0/01$) (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان نیتروژن دانه به‌ترتیب برای تیمار روش کاشت پشته مرتفع و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱/۹۹ درصد) و روش کاشت پشته مرتفع بدون مصرف اوره (۱/۶۵ درصد) به‌دست آمد. بیشترین میزان نیتروژن کاه (۰/۷۱ درصد) مربوط به روش کاشت رایج و بالاترین میزان مصرف کود اوره بود که البته با تیمارهای روش کاشت پشته مرتفع و مصرف ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (به‌ترتیب با ۰/۷ و ۰/۶۸ درصد) و روش رایج و مصرف ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (به‌ترتیب با ۰/۶۲ و ۰/۶۷ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان نیتروژن دانه برای روش کاشت پشته مرتفع و بدون مصرف نیتروژن (۰/۴ درصد) به‌دست آمد. با افزایش مصرف کود اوره از صفر به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، میزان نیتروژن دانه در روش کاشت پشته مرتفع به‌ترتیب ۶، ۸، ۲۱ و ۱۵ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود اوره افزایش یافت. میزان این افزایش در روش کاشت رایج به‌ترتیب ۲، صفر، ۱۲ و ۵ درصد در مقایسه با شاهد محاسبه گردید. افزایش میزان مصرف کود اوره از صفر به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در روش پشته مرتفع محتوی نیتروژن کاه را به‌ترتیب ۱۴، ۲۲، ۴۰ و ۳۶ درصد در مقایسه با شاهد بهبود بخشید. در حالی‌که میزان این افزایش برای روش کاشت رایج به‌ترتیب ۴۵، ۵۵، ۶۸ و ۷۸ درصد حاصل شد (جدول ۳).

با توجه به این نکته که نیتروژن از جمله مهمترین عناصر مؤثر در افزایش درصد نیتروژن دانه می‌باشد (Iqbal *et al.*, 2005; Garrido-Lestache *et al.*, 2005; Guadra *et al.*, 2004)، به نظر می‌رسد که افزایش کاربرد کود نیتروژن، تجمع این عنصر در دانه و همچنین در اندام‌های هوایی گندم را افزایش داده و این وضعیت در نهایت، منجر به بهبود درصد نیتروژن دانه‌ها شده است. در هر دو روش کاشت، بیشترین درصد پروتئین دانه با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار حاصل شد. این نتایج مشابه با نتایج سایر پژوهشگرانی است که گزارش نمودند با افزایش کود نیتروژن، غلظت نیتروژن افزایش یافت (Gallager *et al.*, 1978; Papakosta and Gagianas, 1991; Iqbal *et al.*, 2005; Garrido-Lestache *et al.*, 2005; Guadra *et al.*, 2004). در همین راستا، نتایج مطالعه فاهونگ و همکاران (Fahong *et al.*, 2004) نیز نشان داد که محتوی نیتروژن دانه و غلظت کلروفیل برگ پرچم در روش پشته کاشت پشته مرتفع نسبت به روش مرسوم بالاتر بود که دلیل آن به افزایش جذب نیتروژن نسبت داده شد. آنها همچنین اظهار داشتند که در روش مرسوم بعد از جوانه‌زنی گیاهچه‌ها، سطح خاک به دلیل ایجاد شرایط غرقابی سله بسته که علاوه بر کاهش کارایی مصرف آب، موجب ورس و افت عملکرد شده است. برخی دیگر از محققان نیز بهبود شرایط محیطی برای رشد گیاه تحت تأثیر اجرای روش پشته مرتفع در مقایسه با مرسوم را عنوان نمودند (Hassan *et al.*, 2005; Shah *et al.*, 2003).

شاخص‌های کارایی نیتروژن

اثر ساده و متقابل روش کاشت و میزان کاربرد کود اوره بر شاخص کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار ($p\leq0/01$) بود (جدول ۲). بیشترین کارایی جذب نیتروژن برای تیمار روش کاشت پشته مرتفع و عدم کاربرد نیتروژن (۰/۴۵ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن در خاک) به‌دست آمد که البته با تیمارهای روش کاشت پشته مرتفع و مصرف ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به‌ترتیب با ۰/۴۳ و ۰/۳۶ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و روش کاشت رایج بدون مصرف کود نیتروژن با (۰/۴۴ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار آن مربوط به تیمار ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در روش کاشت رایج (با ۰/۱۴ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) بود که با تیمارهای روش کاشت پشته مرتفع و مصرف بالاترین میزان کود اوره (۰/۲۱ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و روش کاشت رایج و مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (به‌ترتیب با ۰/۱۹ و ۰/۱۷ کیلوگرم نیتروژن گیاه بر کیلوگرم نیتروژن در خاک) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف اوره از صفر به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی جذب نیتروژن در روش کاشت پشته مرتفع به‌ترتیب ۴، ۳۸، ۲۰ و ۵۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. میزان این کاهش برای روش کاشت رایج به‌ترتیب ۵۷، ۶۱، ۴۱ و ۶۸ درصد محاسبه شد. بر این اساس، کارایی جذب نیتروژن تحت تأثیر افزایش مصرف کود اوره از صفر در روش پشته مرتفع به‌ترتیب ۲، ۱۲۶، ۶۵، ۳۸ و ۵۰ درصد بالاتر از روش رایج به‌دست آمد (شکل ۴- الف و ب). به نظر می‌رسد علت پایین‌تر بودن کارایی جذب و مصرف نیتروژن در روش رایج نسبت به پشته مرتفع (شکل ۴- ب و جدول ۳) تا حد زیادی ناشی از تفاوت در عملکرد دانه تحت تأثیر مقادیر مختلف کود اوره مصرفی باشد (شکل‌های ۱- الف و ۲- الف و ب) که به‌طور مستقیم در جذب نیتروژن از خاک تأثیرگذار است. در نتیجه اگرچه با افزایش کاربرد کود اوره تا حدود ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه افزایش یافت، ولی توانایی گیاه در جذب نیتروژن هم راستا با افزایش در میزان مصرف آن نمی‌باشد، در حقیقت در سطوح بالای کاربرد نیتروژن، نیتروژن تجمع‌یافته در اندام‌ها هم‌راستا با مصرف آن نیست.



شکل ٤- (الف) اثر متقابل روش کاشت (P_1: پشته مرتفع و P_2: رایج) و سطوح کود اوره و (ب) اثر ساده مقدار کود اوره بر کارایی جذب نیتروژن گندم

Figure 4- (A) Interaction effect of planting method (P_1: Raised bed planting and P_2: Conventional) and Urea fertilizer rates and (B) simple effect of Urea fertilizer rate on nitrogen uptake efficiency of wheat

اثر ساده و متقابل روش کاشت و میزان مصرف کود اوره شاخص کارایی تبدیل نیتروژن را به‌طور معنی‌داری (p≤۰/۰۱) تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). بالاترین و پایین‌ترین کارایی تبدیل نیتروژن به‌ترتیب برای تیمارهای روش کاشت رایج و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در (۸۲/۴ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در روش کاشت پشته مرتفع (با ۷۱/۵ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) حاصل گردید. افزایش میزان مصرف کود اوره از صفر تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در

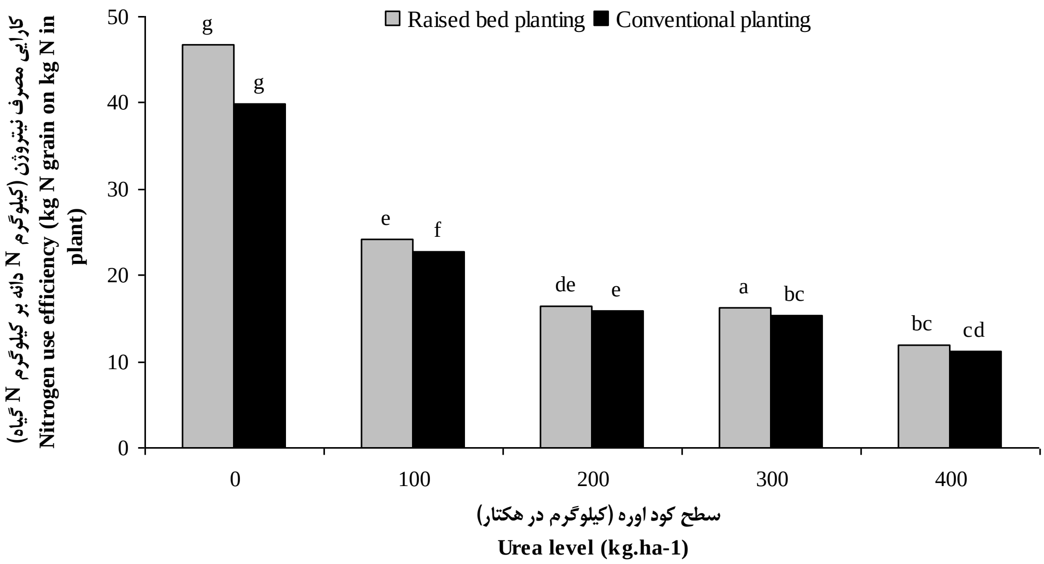
روش کاشت پشته مرتفع، کاهش به‌ترتیب ۳، ۴، ۱۱و ۹ درصدی کارایی تبدیل را در مقایسه با شاهد موجب گردید. میزان این کاهش برای روش کاشت رایج به‌ترتیب برابر با ۱۰، ۱۴، ۲ و ۱۰ درصد در مقایسه با شاهد به‌دست آمد. همچنین در شرایط عدم مصرف کود اوره، کارایی تبدیل نیتروژن در روش کاشت پشته مرتفع ۱۳ درصد بالاتر از روش کاشت رایج بود. در حالی‌که با افزایش مصرف کود اوره از ۱۰۰ به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار شاخص کارایی مصرف نیتروژن در روش پشته مرتفع به‌ترتیب ۱، ۶، ۲ و ۶ درصد کمتر از روش کاشت رایج محاسبه گردید (جدول ۳).

با وجودی‌که در طی ۴۰ سال گذشته پیشرفت‌های ژنتیکی قابل توجهی در جهت افزایش عملکرد گندم حاصل شده است، ولی شاخص جذب نیتروژن در طی این دوره روندی نزولی داشته است و کاهشی ۱۵ درصدی را نشان می‌دهد (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2014). البته میانگین کارایی جذب نیتروژن در جهان نیز در طی دهه‌های گذشته کاهش یافته است. ایکهوت و همکاران (Eickhout *et al.*, 2006) بیان داشتند که کارایی جذب منابع نیتروژنی (کودهای شیمیایی و آلی) در فاصله سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ میلادی درجهان از ۴۶ به ۴۲ درصد، در خاورمیانه از ۵۴ به ۴۷ درصد و در کشورهای در حال توسعه از ۵۳ به ۴۳ درصد کاهش یافته است. نتایج مطالعه لوپز- بلیدو و لوپز- بلیدو (Lopez-Bellido and Lopez-Bellido, 2001) روی ارزیابی شاخص‌های کارایی نیتروژن در گندم تحت تأثیر سطوح مصرف اوره در شرایط آب و هوای مدیترانه‌ای اسپانیا نشان داد که میانگین جذب نیتروژن ۴۶ درصد بود و با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، میزان این شاخص از ۶۱ به ۳۴ درصد کاهش یافت، در حالی‌که متوسط کارایی تبدیل ۳۴ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه بود و تحت تأثیر میزان مصرف کود قرار نگرفت. کاهش کارایی جذب نیتروژن در اثر افزایش کاربرد کود نیتروژن توسط اکثر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Dawson *et al.*, 2008; Lopez-Bellido *et al.*, 2001; Huggins and Pan, 1993; Slafer *et al.*, 1990; Sowers *et al.*, 1994). کارایی نامطلوب مصرف نیتروژن که عمدتاً ناشی از پایین بودن کارایی جذب آن است مهمترین عامل مصرف زیاد این نهاده در بوم‌نظام‌های زراعی در اکثر مناطق در سطح جهان و به‌ویژه آسیا می‌باشد (Cassman *et al.*, 2002). کاسمن و همکاران (Cassman *et al.*, 2002) بیان داشتند از آنجا که منابع نیتروژن معدنی خاک در طول فصل رشد و بین سال‌های مختلف ثابت نمی‌ماند، میزان جذب نیتروژن در این نوع برآوردها معمولاً بیشتر از مقدار واقعی آن است. داده‌های موجود در مورد کارایی جذب نیتروژن در مقیاس بوم‌نظام بسیار محدود می‌باشند. برای مثال، میانگین جذب نیتروژن در ۲۱ مزرعه گندم در کشور هند با میانگین ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار معادل ۲۹ درصد بود و میانگین این کارایی در ۵۵ مزرعه واقع در کمربند ذرت آمریکا با مصرف ۱۰۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از ۳۷ درصد تجاوز نکرد (Cassman *et al.*, 2002). نتایج تحقیق نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2014) نیز نشان داد که کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های گندم ایران با میانگین مصرف ۱۱۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۳۱ درصد است که با نتایج فوق‌الذکر، قابل مقایسه می‌باشد. البته مقادیر بسیار بالاتر کارایی جذب نیتروژن نیز توسط برخی محققان گزارش شده است. برای مثال، در انگلستان کارایی جذب نیتروژن برای گندم زمستانه ۶۵ درصد محاسبه شده است (Sylvester-Bradley and Kindred, 2009)، سالواگیوتی و همکاران (Salvagiotti *et al.*, 2009) نیز کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های گندم آرژانتین را ۴۲ درصد گزارش کردند. البته باید توجه داشت کارایی تبدیل نیتروژن در شرایط آزمایشی به‌مراتب بالاتر از مزارع است (Cassman *et al.*, 2002) و در نتیجه کشاورزان کود بیشتری نسبت به مقدار توصیه شده مصرف می‌کنند که به‌نوبه خود مشکلات جدی را برای محیط زیست و سلامتی انسان و سایر اجزای بوم‌نظام به‌وجود خواهد آورد.

استفاده بهینه از نیتروژن در افزایش بهره‌وری و سودمندی بوم‌نظام‌های زراعی و همچنین کاهش خطرات ناشی از اثرات آلایندگی این عنصر بر محیط زیست نقش مهمی ایفا می‌کند (Dobermann and Cassman, 2004). اتلاف مستقیم کود نیتروژن زمانی رخ می‌دهد که این عنصر متحرک بیش از نیاز گیاه زراعی، در زمان و به شکل نامناسب به‌کار برده شود (Dawson *et al.*, 2008). از طرف دیگر، افزایش کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش تلفات این عنصر به‌ویژه در روش کاشت رایج باعث عدم کارایی مصرف آن شده و شاخص‌های کارایی نیتروژن را کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد که علت کارایی پایین‌تر جذب نیتروژن در شرایط کاربرد مقدار زیاد کود نیتروژن تحت تأثیر روش کاشت رایج (جدول ۳) ناشی از تفاوت در عملکرد دانه تولیدی تحت تأثیر مقادیر مختلف کود اوره مصرفی باشد (شکل‌های ۱ و ۲). یکی از دلایل کاهش کارایی نیتروژن در روش کاشت رایج در مقایسه با پشته مرتفع، افزایش سرعت از دست رفتن این عنصر می‌باشد (Ma *et al.*, 1999) که موجب کاهش کارایی مصرف آن شده است. نتایج مطالعه مجید و همکاران (Majeed *et al.*, 2015) نیز نشان داد که شاخص‌های جذب، مصرف، کارایی زراعی و فیزیولوژیکی جذب نیتروژن در گیاه گندم در شرایط اجرای روش پشته مرتفع همراه با کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌ترتیب ۲۵/۰۴، ۱۵/۰۲، ۱۴/۵۹ و ۲۹/۸۳ درصد بیشتر از روش مرسوم بود. این محققان اظهار داشتند که روش مرسوم به دلیل پخش غیریکنواخت‌تر کود بر سطح خاک باعث کاهش کارایی جذب و مصرف این عنصر متحرک می‌گردد. در حالی‌که در روش کاشت پشته مرتفع در حدود یک سوم کود مصرفی روی پشته‌ها تجمع می‌یابد که

این امر افزایش غلظت نیتروژن رسیده به بوته‌ها و در نتیجه بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن را به دنبال دارد. جذب بیشتر نیتروژن در روش کاشت پشته مرتفع همراه با افزایش عملکرد همچنین به کاهش تلفات آن نسبت داده شده است (Jat *et al.*, 2011). واریاخ و همکاران (Waraich *et al.*, 2010) در مقایسه دو روش کاشت پشته مرتفع و رایج گزارش نمودند که بالاترین شاخص نیتروژن در روش پشته مرتفع به‌دست آمد.

اثرات ساده و متقابل روش کاشت و سطوح کود اوره، به‌طور معنی‌داری کارایی مصرف نیتروژن را تحت تأثیر قرار داد (p≤۰/۰۵) (جدول ۲). بیشترین و کمترین شاخص کارایی مصرف نیتروژن گندم به‌ترتیب مربوط به تیمارهای کاشت پشته مرتفع و شاهد (بدون کاربرد نیتروژن) (۳۶/۶۵ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه) و روش کاشت رایج و مصرف ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱۰/۶۳ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه) بود. با افزایش میزان مصرف کود اوره از صفر تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در روش کاشت پشته مرتفع، کارایی مصرف نیتروژن به‌ترتیب ۹، ۴۲، ۳۲ و ۵۹ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. میزان این کاهش برای روش کاشت رایج به‌ترتیب برابر با ۵۰، ۵۵، ۳۸ و ۶۶ درصد در مقایسه با شاهد محاسبه و تعیین گردید. بدین ترتیب، شاخص کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر کاربرد مقادیر مختلف کود اوره از صفر تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در روش کاشت پشته مرتفع به‌ترتیب ۱۷، ۱۱۳، ۵۰، ۳۰ و ۴۳ درصد بالاتر از روش کاشت رایج بود (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل روش کاشت و سطوح کود اوره بر کارایی مصرف نیتروژن گندم

Figure 5- Mean comparison for the interaction effects of planting method and Urea fertilizer levels on nitrogen use efficiency of wheat

میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

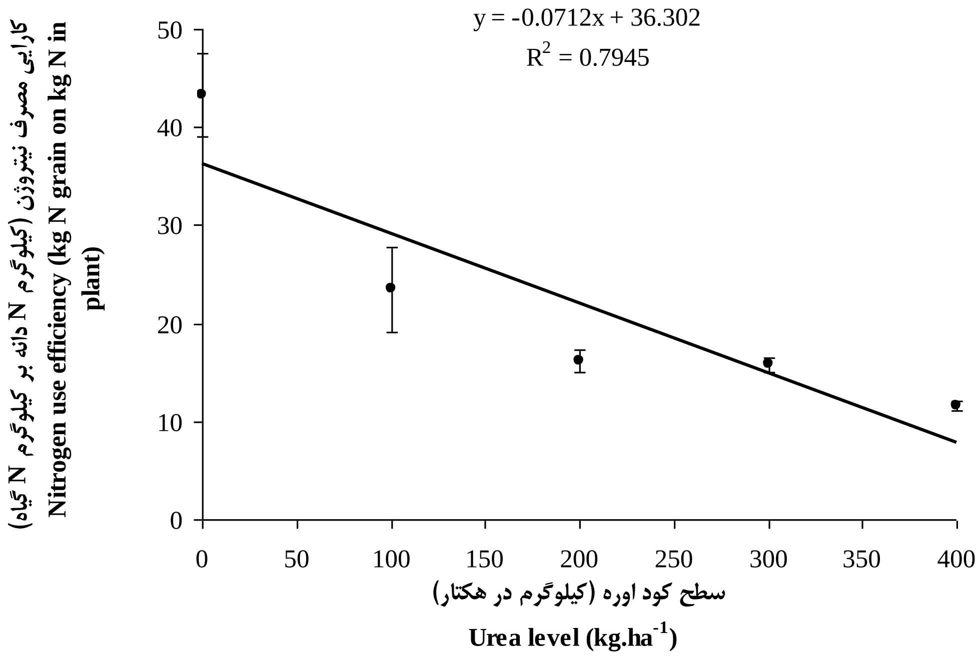
اگرچه با افزایش کاربرد کود اوره، میزان نیتروژن جذب شده از خاک توسط بوته در هر دو روش کاشت افزایش یافته (جدول ۳)، ولی در کل در شرایط مصرف میزان کمتری از کود نیتروژن، کارایی انتقال و استفاده از نیتروژن جذب شده برای تشکیل دانه بیشتر می‌باشد (Daneshmand *et al.*, 2007). به نظر می‌رسد اگرچه در مقادیر بالاتر کود نیتروژن، ظرفیت جذب آن افزایش می‌یابد، ولی در مقابل، مقدار بالاتری از کل نیتروژن در بقایای ساقه و برگ باقی می‌ماند (Sabahi and Ghalavand, 2005). کاهش کارایی استفاده از نیتروژن با افزایش مصرف کود اوره توسط محققین مختلف نیز به اثبات رسیده است. برای مثال، سوور و همکاران (Sower *et al.*, 1994) کارایی مصرف نیتروژن گندم را در دامنه‌ای از مقادیر کود نیتروژن بین ۲۶ تا ۴۴ درصد گزارش نمودند. فیکسن و وست (Fixen and West, 2002) بیان کردند که در فاصله سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۸۳ میلادی در چین کارایی مصرف نیتروژن در گندم از ۱۵ به ۱۰ و در ذرت از ۲۵ به ۱۳/۵ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن خاک کاهش یافته و این کاهش تا حد زیادی به‌دلیل افزایش مصرف کودهای نیتروژن بوده است. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2015) نیز بیان داشتند که با افزایش مصرف نیتروژن از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم، کارایی مصرف نیتروژن هر دو گیاه ذرت و پنبه به‌ترتیب ۵۵ و ۳۵ درصد کاهش یافت.

علاوه بر این، کاهش کارایی مصرف نیتروژن در پاسخ به مصرف کود اوره عمدتاً ناشی از کاهش کارایی جذب آن بوده است. کارایی مصرف نیتروژن حاصلضرب کارایی جذب این نهاده در کارایی تبدیل آن است و نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که با افزایش مصرف این نهاده هر دو جزء کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافته ولی شدت کاهش کارایی جذب بیشتر از کارایی تبدیل نیتروژن می‌باشد (Biswas and Benbi, 1997; Stevens *et al.*, 2005). البته گاجو و همکاران (Gaju *et al.*, 2011) نتیجه‌گیری کردند که کارایی مصرف نیتروژن عمدتاً تابع کارایی تبدیل این نهاده می‌باشد. لوپز- بلیندو و لوپز- بلیندو (Lopez-Bellndo and Lopez- Bellndo, 2001) با بررسی کارایی مصرف نیتروژن در گندم تحت تأثیر سطوح مصرف این عنصر در اسپانیا بیان داشتند که میانگین کارایی مصرف نیتروژن برابر با ۱۵/۸ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن در خاک بود که با افزایش مصرف کود به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. از سوی دیگر، ویت کامب و همکاران (Witcombe *et al.*, 2008) بیان داشتند که در شرایط عرضه محدود نیتروژن، کارایی مصرف این عنصر عمدتاً به کارایی جذب آن و در شرایط مصرف زیاد این نهاده به کارایی تبدیل آن وابسته است. بل و همکاران (Bell *et al.*, 1995) با بررسی نقش نهاده‌های مختلف در شکل‌گیری عملکرد، سهم کود نیتروژن برای گندم در مکزیک را ۴۸ درصد محاسبه و بیان داشتند که افزایش سهم نیتروژن در عملکرد این گیاه ناشی از کاهش کارایی جذب این نهاده می‌باشد. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد که کاهش شاخص‌های کارایی تبدیل و جذب نیتروژن نقش مهمی در افزایش سهم نسبی این نهاده در عملکرد گندم کشور داشته است. کاهش شاخص تبدیل نیتروژن که به نوبه خود ناشی از کاهش جذب آن می‌باشد (Dobermann and Cassman, 2005)، باعث خواهد شد که هر سال برای حفظ عملکرد در سطحی مشابه یا بالاتر از سال قبل به مصرف کود بیشتری نیاز باشد تا از این طریق کاهش بهره‌برداری به‌وسیله کود بیشتر جبران گردد. بهبود کارایی جذب نیتروژن مهمترین اقدام در جهت کاهش وابستگی عملکرد به این نهاده است. البته اصلاح سیستم ریشه‌ای غلات برای جذب بهتر نیتروژن از لایه‌های عمیق‌تر خاک باعث اثر منفی بر کارایی جذب عناصر کم‌تحرک‌تر نظیر فسفر که عمدتاً در قسمت‌های سطحی خاک تجمع دارند، نیز خواهد شد (Bingham, 2005; Ho *et al.*, 2005). بنابراین، روش‌های مدیریت مصرف کود نظیر انتخاب روش‌های مناسب کاشت مؤثرترین راهکار در ارتباط با بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن به‌ویژه کارایی مصرف نیتروژن محسوب می‌شوند.

اجرای روش پشته مرتفع با تجمع نیتروژن در مجاورت بوته‌ها علاوه بر کاهش درصد حضور علف‌های هرز (Majeed *et al.*, 2015; Jat *et al.*, 2011)، از طریق افزایش غلظت نیتروژن و حاصلخیز شدن خاک سطح پشته‌ها سبب افزایش رشد، بهبود عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن شد (Jat *et al.*, 2011).

با توجه به نتایج حاصله مشاهده می‌شود که کارایی مصرف نیتروژن روندی مشابه با کارایی جذب آن دارد (شکل ۴- الف)؛ به‌طوری‌که با افزایش مصرف اوره، کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت. تفاوت شاخص کارایی مصرف نیتروژن بین دو شرایط عدم کاربرد و مصرف ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار برابر با ۶۲ درصد محاسبه گردید. به نظر می‌رسد که دلیل این کاهش عمدتاً ناشی از عدم وجود رابطه خطی بین مصرف نیتروژن و افزایش عملکرد می‌باشد. به بیان دیگر، با افزایش کاربرد نیتروژن به همان میزان عملکرد دانه بهبود نمی‌یابد (شکل ۶).

در آزمایشی ملاحظه شد، افزایش مصرف کود نیتروژن به دلیل افزایش تلفات نیتروژن از طریق دنیتریفیکاسیون، تبخیر آمونیومی، رواناب و آبشویی موجب کاهش کارایی مصرف آن گردید (Akintoye *et al.*, 1999). هاگینز و پان (Huggins and Pan, 1993) و سمنوف و همکاران (Semenov *et al.*, 2007) دریافتند که در سطوح بالای مصرف کود اوره، جذب نیتروژن در دسترس به آهستگی افزایش یافت که باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن شد. ارتیز و همکاران (Ortiz *et al.*, 2002) دریافتند به موازات افزایش کاربرد کود اوره، کارایی جذب و تبدیل نیتروژن کاهش یافت که در نهایت، موجب کاهش کارایی مصرف آن گردید. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد برنامه‌های اقتصادی مربوط به تنظیم قیمت نهاده‌ها، اصلاح روش‌های مدیریت در جهت بهبود کارایی جذب نیتروژن راهکار اکولوژیک مؤثری به منظور جلوگیری از مصرف بی‌رویه این نهاده و همچنین بهبود کارایی مصرف آن در بوم‌نظام‌های زراعی باشد. برخی بررسی‌ها نیز نشان داده است که تعدیل در کاربرد مقادیر کودهای شیمیایی نیتروژن و یا تقسیط آن راهکار مناسبی برای افزایش کارایی مصرف آن در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد (Gan *et al.*, 2008; Alcoz *et al.*, 1993). کارایی پایین کودهای شیمیایی نیتروژنه به دلیل کاربرد مقادیر بالای آنها است، خصوصاً زمانی که نیتروژن معدنی موجود در خاک قبل از کشت و یا نیتروژن معدنی‌شده در طول فصل رشد نادیده گرفته می‌شود (Arregui and Quemada, 2008). براساس مطالعه نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2014)، کارایی تبدیل نیتروژن در نظام‌های تولید گندم ایران در طی چهار دهه گذشته سالانه برابر با ۰/۱۷ کیلوگرم نیتروژن دانه بر کیلوگرم نیتروژن گیاه افزایش یافته است.



شکل ٦- اثر سطوح کود اوره بر کارایی مصرف نیتروژن در گندم

Figure 6- Effect of Urea fertilizer rates on nitrogen use efficiency of wheat

نتیجه‌گیری

به منظور دستیابی به تولید پایدار محصولات زراعی، از جمله اصول اولیه بهبود کارایی مصرف منابع و جلوگیری از هدررفت نهاده‌های کشاورزی است. نتایج این مطالعه نشان داد که روش کاشت پشته مرتفع عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن گندم را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با روش کاشت رایج تحت تأثیر قرار داد. با افزایش مصرف اوره به‌دلیل تولید اندام‌های رویشی، بهبود دوام سطح برگ، سرعت و ظرفیت فتوسنتز تا حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه به‌صورت خطی افزایش یافت و سپس تقریباً ثابت گردید و نهایتاً در سطوح مصرف اوره بالاتر از ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. همچنین شیب افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر افزایش مصرف اوره، در روش کاشت پشته مرتفع بیشتر از روش رایج بود. افزایش کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش تلفات این عنصر به‌ویژه در روش کاشت رایج باعث عدم کارایی مصرف آن شده و شاخص‌های کارایی نیتروژن را کاهش داد. کاهش کارایی مصرف نیتروژن در پاسخ به مصرف کود اوره عمدتاً ناشی از کاهش کارایی جذب آن بوده است. همچنین اجرای روش پشته مرتفع با تجمع نیتروژن در مجاورت بوته‌ها، از طریق افزایش غلظت نیتروژن و حاصلخیز شدن خاک سطح پشته‌ها سبب افزایش رشد، بهبود عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن شد.

بدین ترتیب، از آنجا که استفاده بهینه از نیتروژن در افزایش بهره‌وری و سودمندی بوم‌نظام‌های زراعی و کاهش خطرات ناشی از اثرات آلایندگی این عنصر بر محیط زیست نقش مهمی دارد، لذا بهبود کارایی جذب نیتروژن مهمترین اقدام در جهت کاهش وابستگی عملکرد به این نهاده است. بر این اساس، بهره‌گیری از روش‌های مدیریت مصرف کود نظیر انتخاب روش‌های مناسب کاشت به‌عنوان مؤثرترین راهکار در ارتباط با بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن به‌ویژه کارایی مصرف نیتروژن پیشنهاد می‌شوند.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل پژوهه شماره ۳۷۶۲۳/۲ مورخ ۱۳۹۴/۰۳/۰۹ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Akintoye, H. A., Klinga, J. G., and Lucas, E. O. 1999. N-use efficiency of single, double and synthetic maize lines grown at four N levels in three ecological zones of West African. Field Crops Research 60: 189-199.
2. Alcoz, M. M., Homs, F. M., and Haby, V. A. 1993. Nitrogen fertilization timing effect on wheat production,

nitrogen uptake efficiency, and residual nitrogen. Agronomy Journal 85: 1198-1203.
3. Arregui, L. M., and Quemada, M. 2008. Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rain fed conditions. Agronomy Journal 100: 277-284.
4. Bahrani, A., and Tahmasebi Sarvestani, Z. 2006. Effects of rate and time of nitrogen fertilizer on yield, yield component, and dry matter remobilization efficiency in two winter wheat cultivars. Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University 12 (2): 369-376. (in Persian with English abstract).
5. Bell, M. A., Fischer, R. A., Byerlee, D., and Sayre, K. 1995. Genetic and agronomic contributions to yield gains: A case study for wheat. Field Crops Research 44: 55-65.
6. Bingham, I. J. 2005. Agronomic approaches for modifying root systems of field crops: opportunities and constraints. Aspects of Applied Biology 73: 169-178.
7. Biswas, C. R., and Benbi, D. K. 1997. Nitrogen balance and N recovery after 22 years of maize–wheat–cowpea cropping in a long-term experiment. Nutrient Cycling in Agroecosystems 47: 107-114.
8. Bock, R. H. 1984. Efficient water use of nitrogen in cropping system. Pp. 273-294. In: “Hauck, R.D. (ed.). Nitrogen in Crop Production. ASA, CSSA, SSSA”. Madison, Wisconsin, USA.
9. Cassman, K. G., Dobermann, A., and Walters, D. I. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency and nitrogen management. Ambio 31: 132-140.
10. Cassman, K. G., Dobermann, A., Walters, D. T., and Yang, H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. Annual Review of Environment and Resources 28: 315-358.
11. Cerrato, M. E., and Blackmer, A. M. 1990 Comparison of models for describing; corn yield response to nitrogen fertilizer. Agronomy Journal 82: 138-143.
12. Daneshmand, A., Shirani Rad, A. H., Noormohammadi, G., Zeraei, G., and Daneshian, J. 2007. Effect of water stress and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components, nitrogen uptake and water and nitrogen use efficiency in two of canola cultivars. Iranian Journal of Crop Science 8 (4): 323-342. (in Persian with English abstract).
13. Dawson, J. C., Huggins, D. R., and Jones, S. S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agriculture systems. Field Crops Research 107: 89-101.
14. Dobermann, A., and Cassman, K. G. 2005. Cereal area and nitrogen use efficiency are drivers of future nitrogen fertilizer consumption. Science China Life Sciences 48: 1-14.
15. Dobermann, D. I., and Cassman, K. G. 2004. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production of United States and Asia. Plant and Soil 247: 153-175.
16. Eickhout, B., Bouwman, A. F., and van Zeijts, H. 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability Agriculture, Ecosystems and Environment 116: 4-14.
17. Emam, Y., Ahmadi, A., and Pesarakli, M. 2005. Effect of different methods of cultivation with residue management and nitrogen levels on wheat yield and yield component in Fars province conditions. Iranian Journal of Field Crop Science 41 (4): 841-850. (in Persian with English abstract).
18. Fageria, N. K., and Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy 88: 97-185.
19. Fahong, W., Xuqing, W., and Sayre, K. 2004. Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. Field Crops Research 87: 35-42.
20. Fixen, P. E., and West, F. B. 2002. Nitrogen fertilizers: meeting contemporary challenges. Ambio 31: 169-176.
21. Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J. W., Heumez, E., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Griffiths, S., Orford, S., Hubbart, S., and Foulkes, M. J. 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. Field Crops Research 123: 139-152.
22. Gan, Y., Malhi, S. S., Brandt, S., Katepa-Mupondwa, F., and Stevanson, C. 2008. Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of juncea Canola under diverse environments. Journal of Agronomy 100: 285-295.
23. Gastal, F., and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. Journal of Experimental Botany 370: 789-799.
24. Giller, K. E., Chalk, P., Dobermann, A., Hammond, L., Heffer, P., Ladha, J. K., Nyamudeza, P., Maene, L., Ssali, H., and Freney, J. 2004. Emerging technologies to increase the efficiency of use of fertilizer nitrogen. In: Mosier A. R., Syers J. K., Freney J. R. (Eds.), Agriculture and the Nitrogen Cycle. Island Press, Washington, D.C., pp. 35-51.
25. Gliessman, S. R. 1997. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Arbor Press. 357 pp.
26. Hatermink, A. E., Johnston, M. O., Sullivan, J. N., and Poloma, S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. Agriculture, Ecosystems and Environment 79: 271-280.
27. Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., and Jensen, E. S. 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea barley intercropping. Field Crops Research 70: 101-109.
28. Ho, M. D., Rosas, J. C., Brown, K. M., and Lynch, J. P. 2005. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. Functional Plant Biology 32: 737-748.

29. Hobbs, P. R., Sing, Y., Giri, G. S., Lauren, J. G., and Dusbury, J. M. 2000. Direct seeding and reduced tillage options in the rice- wheat systems of the Indo-Gangetic plain of South Asia. Paper presented at IRRI workshop, Bangkok, Thailand, 25-28 January, 2000.
30. Horwitz, W., and Latimer, G. W. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 18th Edition. Maryland, USA.
31. Hossain, M. I., Islam, M. K., Sufian, M. A., Meisner, C. A., and Islam, M. S. 2006. Effect of planting method and nitrogen levels on the yield and yield attributes of wheat. Journal of Biosciences 14: 127-130.
32. Hossain, M. I., Meisner, C., Duxbury, J. M., Lauren, J. G., Rahman, M. M., Meer, M. M., and Rashid, M. H. 2004. Use of raised beds for increasing wheat production in rice-wheat cropping systems, New directions for a diverse planet: proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep.–1 Oct., 2004, Brisbane, Australia.
33. Huggins, D. R., and Pan, W. L. 1993. Nitrogen use efficiency components analysis: an evaluating of cropping system differences in productivity. Agronomy Journal 85: 898-905.
34. Jat, M. L., Gupta, R., Saharawat, Y. S., and Khosla, R. 2011. Layering precision land leveling and furrow irrigated raised bed planting: productivity and input use efficiency of irrigated bread wheat in indo-gangetic plains. American Journal of Plant Sciences 2: 578-588.
35. Koocheki, A., Borumand Rezazadeh, Z., Nassiri Mahallati, M., and Khorramdel, S. 2012. Evaluation of nitrogen absorption and use efficiency in relay intercropping of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (2): 327-334. (In Persian with English abstract).
36. Koocheki, A., Khorramdel, S., Fallahpour, F., and Mellati, F. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in row intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11 (4): 533-542. (in Persian with English abstract).
37. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Bakhshaee, S., and Davari, A. 2017. A meta analysis of nitrogen fertilizer experiments for cereal crops in Iran. Journal of Agroecology 9 (2): 296-313. (in Persian with English abstract).
38. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Alizadeh, Y. 2015. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. Iranian Journal of Field Crops Research 13 (1): 1-13. (in Persian with English abstract).
39. Kukal, S. S., Humphreys, E., Thaman, S., Singh, B., and Timsina, J. 2010. Factors affecting irrigation water savings in raised beds in rice and wheat. Field Crops Research 118: 43-50.
40. Lemaire, G., Jeuffroy, M. H., and Gastal, F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: theory and practices for crop N management. European Journal of Agronomy 28: 614-624.
41. Li, Q. Q., Chen, Y. H., Liu, M. Y., Zhou, X. B., Dong, B. D., and Yu, S. L. 2008. Effects of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. Agricultural Water Management 95: 469-476.
42. Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R. J., Castillo, J. E., and Lopez-Bellido, F. J. 2001. Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. Field Crops Research 42: 197-210.
43. Lopez-Bellido, R. J., and Lopez-Bellido, L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions:effect of tillage, crop rotation and N fertilization. Field Crops Research 71: 31-46.
44. Ma, B. L., Dwyer, L. M., and Gregorich, E. G. 1999. Soil nitrogen amendment affects on nitrogen uptake and grain yield of maize. Agronomy Journal 91: 650-656.
45. Majeed, A., Muhmood, A., Niaz, A., Javid, S., Ahmad, Z. A., Shah, S. S. H., and Shah, A. H. 2015. Bed planting of wheat (*Triticum aestivum* L.) improves nitrogen use efficiency and grain yield compared to flat planting. The Crop Journal 3 (2): 118-124.
46. Meisner, C. A., Acervedo, E., Flores, D., Sayre, K., Ortizmonasterio, L., and Byerlee, D. 1992. Wheat production and grower practices in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. Wheat Special Report. No. 6. Mexico, D F CIMMYT.
47. Miran Zadeh, H., and Emam, Y. 2010. The effect of nitrogen and Cloro-macovat-clorid on seed yield, dry matter and water efficiency on 4 cultivar of wheat. Iranian Journal of Field Crops Research 8 (6): 636-645.
48. Moles, D. J., Rangai, S. S., Bourke, R. M., and Kasamani, C. T. 1984. Fertilizer responses of taro in Papua New Guinea. In:S. Chandra (Ed.), Edible Aroids. Clarendon Press, Oxford, pp. 64-71.
49. Mollah, M. I. U., Bhuiya, M. S. U., and Kabir, M. H. 2009. Bed planting: a new crop establishment method for wheat in rice-wheat cropping system, Journal of Agriculture and Rural Development 7: 23-31.
50. Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2006. Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. Field Crops Research 96: 363-373.
51. Naroki, F. A., Vaezi, B., and Bavi, V. 2009. Determination amount of advisable nitrogen for improving quantity and quality characters of three new durum wheat lines. Iranian Crop Sciences Journal 41 (3):583-595. (in Persian with English abstract).
52. Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2014. Trend analysis of nitrogen use and productivity in cereal production systems of Iran. Journal of Agroecology 8 (3): 607-621. (in Persian with English abstract).
53. Nelson, L. A., Voss, R. D. and Pesek, J. T. 1985. Agronomic and statistical evaluation of fertilizer response. P. 53-

90. In: O.P. Engelstad (Ed.) fertilizer technology and use. 3rd Ed. ASA, Madison.
54. Nunez, R., and Kamprath, E. J. 1969. Relationships between N response, plant population. And row width on growth and yield of corn. Agronomy Journal 61: 279-282.
55. Olesen, G. E., Petersen, B. M., Bernsten, G., and Hansen, S. 2002. Comparison of methods for simulating effects of nitrogen on green area index and dry matter growth in winter wheat. Field Crops Research 74: 131-149.
56. Ortiz, R., Nurminen, M., Madsen, S., Rognil, O. A., and Bjornstad, A. 2002. Genetic gains in Nordic spring barley breeding over sixty years. Euphytica 126: 283-289.
57. Rathke, G. W., Behrens, T., and Diepenbrock, W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. Agriculture, Ecosystems and Environment 117: 80-108.
58. Raun, W. R., and Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production: a review. Agronomy Journal 91: 357-363.
59. Sabahi, H., and Ghalavand, A. 2005. Comparison on uptake, utilization and losses of nitrogen in organic, integrated and conventional fertilization methods in winter rapeseed (*Brassica napus* L.). Environmental Science 6: 15-27. (in Persian with English abstract).
60. Salvagiotti, F., Castellari, J. M., Miralles, D. J., and Pedro, H. M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research 113: 170-177.
61. Sayre, K. D., and Morens Romos, O. H. 1997. Application of raised bed planting system to wheat. Wheat Program Special Research 31. CIMMYT, Mexico. P. 14-22.
62. Semenov, M. A., Jamieson, P. D., and Martre, P. 2007. Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: A simulation study. European Journal of Agronomy 26: 283-294.
63. Shah, S. S. H., Hassan, A., Ghafoor, A., and Bakhsh, A. 2003. Soil physical characteristics and yield of wheat and maize as affected by mulching materials and sowing methods, Plant, Soil and Environment 32: 14-21.
64. Shahsavari, N., and Saffari, M. 2005. The effect of different levels of nitrogen on the function and elements of the varieties of wheat in Kerman. Pajouhesh & Sazandegi 66 (4): 82-87. (in Persian with English abstract).
65. Slafer, G. A., Andrade, F. H., and Feingold, S. E. 1990. Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Argentina: Relationship between nitrogen and dry matter. Euphitica 50: 63-71.
66. Sowers, K. E., Pan, W. L., Miller, B. C., and Smith, J. L. 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen application in soft white winter wheat. Agronomy Journal 86: 942-948.
67. Stevens, W. B., Hoeft, R. G., and Mulvaney, R. L. 2005. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study. I. Interactions with soil nitrogen. Agronomy Journal 97: 1037-1045.
68. Sylvester-Bradley, R., and Kindred, D. R. 2009. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. Journal of Experimental Botany 60: 1939-1951.
69. Tittonell, P., Zingore, S., Van Wijk, M. T., Corbeels, M., and Giller, K. E. 2007. Nutrient use efficiencies and crop responses to N, P and manure applications in Zimbabwean soils: exploring management strategies across soil fertility gradients. Field Crops Research 100: 348-368.
70. Waraich, E. A., Saifullah, R. A., and Ahmad, S. 2010. Raised bed planting- a new technique for enhancing water use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) in semi-Arid zone. Iranian Journal of Plant Physiology 1 (2): 73-84.
71. West, M. L. 2006. Response of corn hybrids to varying plant population densities. Field Crops Abstract 42: 8569.
72. Witcombe, J. R., Hollington, P. A., Howarth, C. J., Reader, S., and Steele, K. A. 2008. Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B 363: 703-716.
73. Wolton, W. 2005. Leaf area index and radiation as related to corn yield. Agronomy Journal 65: 459-461.
74. Zhang, W., and Zhang, X. 2007. A forecast analysis on fertilizer consumption worldwide. Environmental Monitoring and Assessment 133: 427-434.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 243-261

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۲۶۱-۲۴۳

Effects of Raised Bed Planting and Nitrogen on Nitrogen Efficiency Indices and Yield of Wheat

A. Koocheki[1*]- S. Khorramdel[2]- J. Shabahang[3]
Received: 21-03-2017
Accepted: 22-08-2017

Introduction

Nitrogen use efficiency (NUE) for wheat is only about 30%, but with best management practices it can be improved to higher levels. Optimal nitrogen (N) management is essential for maximum NUE, crop yield and minimum environmental impacts. Applying less N may result in lower grain yields and reduced grain quality. However, higher N application can result in reducing NUE and increasing fertilizer losses. Efficient use of applied N fertilizer improves crop yield and decreases the production cost. N application and recovery efficiencies depend on soil criterias; method and rate of fertilizer application; and planting methods. Improving NUE is one ecological approach for producing higher grain yield. In recent years, some researchers found that suitable management and adoption of appropriate practices could improve agricultural nitrogen use efficiency and crops production would be more efficient. Raised bed planting has shown to improve water distribution and efficiency, fertilizer use efficiency, reduced crop lodging and decreased seed rate without sacrificing yield. Planting methods could also affect the vertical distribution of leaf area index and radiation use efficiency of wheat.

The objectives of this study were to determine the effects of raised bed planting and Urea fertilizer levels on the nitrogen efficiency indices and yield of wheat.

Materials and Methods

This experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Field, Ferdowsi University of Mashhad during the growing season of 2015-2016. The main and sub factors were allocated to planting methods (raised bed and conventional methods) and Urea rates such as 0, 100, 200, 300 and 400 kg Urea ha^{-1}, respectively. Investigated traits were grain yield, biological yield, nitrogen content of grain, nitrogen content of straw, and efficiency indices of nitrogen (nitrogen uptake efficiency, nitrogen utilization efficiency and NUE). The treatments were run as an analysis of variance (ANOVA) to determine if significant differences existed among treatments means. Multiple comparison tests were conducted for significant effects using the LSD test.

Results and Discussion

Results showed that the simple and interaction effects of planting methods and Urea rates were significant ($p \leq 0.05$) on grain yield, biological yield, grain nitrogen content, straw nitrogen content, nitrogen uptake efficiency, nitrogen utilization efficiency and NUE of wheat. The maximum and minimum grain yield were observed with raised bed planting and 300 kg Urea ha^{-1} (7545 kg ha^{-1}) and conventional planting and control (3865 kg ha^{-1}), respectively. The maximum and the minimum amounts of nitrogen uptake efficiency were belonged to raised bed planting and control (0.45 kg N in plant per kg N in soil) conventional planting and 400 kg Urea ha^{-1} (0.14 kg N in plant per kg N in soil), respectively. The highest and lowest NUE were related to raised bed planting and control (36.65 kg N in grain per kg N in plant) conventional planting and 400 kg Urea ha^{-1} (10.63 kg N in grain per kg N in plant), respectively. Increasing in Urea rate from 0 to 400 kg ha^{-1} fertilizer decreased nitrogen use efficiency up to 62 percent.

Conclusions

Results showed a higher grain yield and biological yield from planting on raised bed compared with the conventional planting, owing to higher nitrogen uptake and nitrogen use efficiency. Biological yield was significantly influenced and higher trend was found with higher dose of nitrogen. There was a trend to improve

1- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- PhD in Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

grain yield with the increase of Urea levels. Grain yield increased in raised bed planting method compared with conventional planting mostly due to more fertile topsoil on the raised beds. Enhancing nitrogen fertilizer led to improve in grain yield and a decrease in NUE.

Acknowledgement

This research (37623.2) was funded by Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Nitrogen uptake efficiency, Nitrogen use efficiency, Nitrogen utilization efficiency, Raised bed planting